

테일러드블랭크 용접을 위한 전단 공정 연구

유병길* · 이경돈*

A Study on Mechanical Shearing Process for Tailored Blank Welding

Byung-kil Yu* and Kyoung-Don Lee*

Key Words : Laser Butt Welding(레이저 맞대기 용접), Tailored Blank(테일러드블랭크), Mechanical Shearing(기계적 전단), Straightness(진직도)

Abstract

Weld bead quality in tailored blank(TB) is critically affected by edge preparation of sheets. The edge quality of prepared sheets for TB can be classified into straightness and the cross section quality of sheared plane such as a ratio of shear face, shear plane angle, etc. In order to have a good edge quality for butt-welding sheets, precision shearing will be recommended. In this paper, the feasibility of a conventional mechanical shearing as the edge preparation for tailored blanks is studied. It reveals that fine shearing may not be the unique solution as it is generally accepted. To obtain the good shearing condition with a conventional mechanical shearing, experiments were carried out using Taguchi method. The major parameters affecting a sheared contour are the clearance between upper blade and lower blade, and shear angle. The optimal shearing condition yields a very good straightness along the entire length of the cut, which gives a butt joint gap less than 10% of the base material thickness. The good cross section of sheared plane is also achieved in the optimal shearing condition such as a ratio of the shear face above 65%, a cross section's shear plane angle above 85°, little burr, which is providing finally good weld beads.

1. 서 론

자동차 산업에서 맞대기 레이저 용접을 이용한 테일러드블랭크(Tailored Blank, TB)기술은 이미 보편화되고 있다. 자동차용 판재의 TB는 기존의 점 용접기술에 비해 자동차의 경량화, 재료비의 절감, 차체 강성의 증가 등 많은 장점을 가지고 있으나, 맞대기한 판재 사

이의 틈새가 레이저 용접 품질에 영향을 주는 결정적인 변수 중에 하나가 되어 판재 준비에 어려움이 있다^{1,2)}.

맞대기 레이저 용접을 하기 위해서는 맞대기한 판재 사이의 최대 틈새가 판재 두께의 10%미만이 되도록 준비하는 것이 중요하다^{3,4)}. 틈새가 이보다 큰 경우, 비드 함몰 등 용접 불량으로 판재 성형시 용접 비드에 균열이 발생⁵⁾하거나 제품의 피로 수명을 단축⁶⁾시키게 된다. 맞대기한 판재간의 틈새는 준비한 판재의 길이

※ 1998년 10월 26일 접수

* 정희원, 고등기술연구원 설계기술연구실 및 아주대학교 시스템 공학과

• 이경돈:kdlee@iae.re.kr

방향 형상과 단면 형상에 의해 발생하며, 이를 줄이기 위해 레이저 절단⁷⁾이나 정밀 전단기를 이용한 정밀 전단, 또는 일반 전단기로 전단 후 밀링가공 등 별도의 공정으로 판재를 준비한다. 대량생산과 신뢰성 면에서 레이저 절단이나 밀링가공보다는 정밀 전단 방법이 선호되고 있다. Betz⁸⁾는 전단 단면 형상에서 최소한의 쇄가시(burr)와 전단면율이 70% 이상이 되도록 토글 레버(toggle lever)형의 길로틴(guillotine)전단기에 이중 트림 다이(trim die)로 구성된 정밀 전단기를 개발하였으며, Carter⁹⁾ 역시 쇄가시의 최소화와 전단면율을 향상에 비중을 둔 다이컷팅 카세트(die cutting cassette)형의 정밀 전단기를 개발하였다. 그러나 이러한 정밀 전단기는 전단 길이방향 형상보다는 전단 단면 형상에 기인한 판재의 틈새를 줄이는 데 비중을 두고 있으며, 장비 가격이 고가이어서 정밀 전단기를 이용한 용접 판재의 준비는 비용이 높아 경제적 가치가 적게 된다. 한편 Wildmann¹⁰⁾은 프로파일 롤러를 이용하여 맞대기한 판재 면을 성형하는 방법으로 판재 간 틈새를 줄이는 장치를 개발하였으나 별도의 장치를 제작하고 공정이 추가되어야 하는 번거로움이 있다.

본 연구에서 정밀 전단기가 아닌 저가의 다운컷시어(down cut shear)형 일반 판재 전단기로 전단한 판재가 맞대기 레이저 용접을 하기 위한 전단 품질 기준을 충분히 만족시키는가를 검토하였다. 전단판재의 품질을 전단 길이방향 형상(sheared contour of entire length)과 전단 단면 형상(cross section of sheared plane)으로 구분하여 평가하였으며, 맞대기 레이저 용접에 적합한 전단 품질을 얻고자 다푸찌 실험 방법을 적용하여 전단 공정 변수를 최적화 하였다. 이로부터 구한 최적의 전단조건에서 전단한 판재(전단판재)와 밀링가공으로 준비한 판재(밀링판재)의 용접 품질을 비교 평가하여, 다운컷시어형 일반 전단기에서 전단한 판재로 맞대기 레이저 용접하였을 때 충분히 좋은 용접 품질을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 테일러드블랭크 용접에 적합한 전단 품질을 적절히 표현할 수 있는 새로운 개념의 특성치를 도입 검토하였으며, 실험과 계산을 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 실험방법

2.1 전단기 사양 및 시편의 준비

Fig.1은 일반 전단기의 전단 가공 모식도를 나타낸 것이다. 전단 가공은 서로 반대방향으로 작용하는 전단 날에 좁은 간격을 두고 판재에 전단 응력을 작용하

여 재료를 절단하는 작업이다¹¹⁾⁻¹²⁾. 사용된 판재 전단기는 하부 날이 고정되어 있고 상부 날을 아래쪽으로 움직여 판재를 자르는 다운컷시어 형태로 사양은 Table 1에, 형상을 Photo.1에 나타내었다.

실험에 사용한 판재는 두께 0.9mm, 길이 1m인 자동차용 극저탄소강 판재로 조성은 Table 2, 기계적 성질은 Table 3에 나타내었다.

2.2 전단 실험

판재 전단은 전단 재료의 두께와 길이, 상부 날과 하

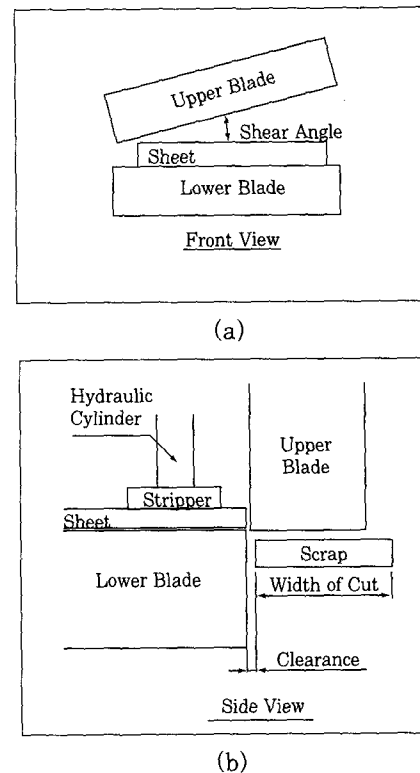


Fig. 1 Schematic illustrations of mechanical shearing process

Table 1. Specifications of the mechanical shearing machine

	Unit	Specification
Shearing Capacity	mm	max 3.2
Shearing Length	mm	max 2,550
Working Pressure	kgf/cm ²	140
Shearing Angle	°	adjustable
Blade Clearance	mm	adjustable
Stroke Length	mm	110
Stroke Speed	mm/sec	70

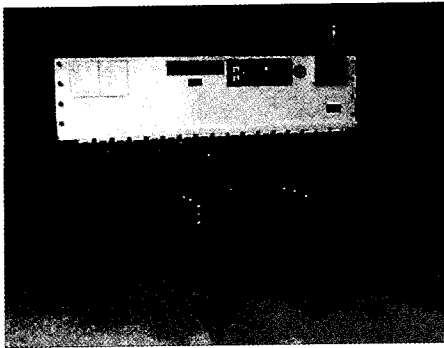


Photo 1. Picture of mechanical shearing machine

Table 2. Chemical composition of base sheet metal

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	Fe
wt%	0.0060	0.0046	0.0904	0.0115	0.011	0.0109	0.0151	0.0059	0.0369	bal.

Table 3. Mechanical properties of base sheet metal

Ultimate Tensile Strength	Yield Strength	Uniform Elongation
280 MPa	165 MPa	25%

부 날이 이루는 전단각(shear angle)과 날간 간격(clearance), 전단되어 나가는 스크랩 길이(width of cut), 판재를 누르는 스트리퍼의 압력과 간격, 전단 속도등 많은 변수를 가지고 있다. 또한 위와 같이 제어 가능한 변수가 있는 반면 실험자가 제어할 수 없는 여러 가지 비제어 변수가 있다. 이러한 변수들의 영향을 효율적으로 파악하고 최적의 전단조건을 얻기 위해서 다투찌 실험계획법을 적용하여 실험하고 그 결과를 통계적으로 분석하였다. 이번 실험에서는 판재를 전단하는 데 충분한 작용압력과 스트리퍼의 압력을 설정한 뒤, 전단각, 상부 날과 하부 날간의 간격, 스크랩 길이를 실험인자로 설정하였으며, 각 인자에 대해 3수준으로 실험을 하였다. 또한 외란에 의한 비제어 전단 변수의 영향을 평가하기 위해 3회 반복실험을 하였다.

2.3 전단 품질 측정

맞대기 레이저 용접을 하기 위해 준비한 전단판재의 품질은 전단 길이방향 형상과 전단 단면 형상으로 구분하여 측정하였다.

2.3.1 전단 길이방향 형상 측정

일반적으로 전단판재의 전단 길이방향 형상은 Fig.2

와 같이 보우(bow), 트위스트(twist), 캠버(camber)¹³⁾로 나타낸다. 자동차에 사용되는 TB용 판재는 두께 3.0mm이하의 박판으로 용접 고정구에 의해 판재가 편평하게 유지되므로 캠버만으로 전단 길이방향 품질을 나타낼 수 있으므로 본 연구에서는 이를 진직도(straightness)로 정량화 하였다. 전단 길이방향 형상을 나타내는 진직도는 전단한 판재 면이 기하학적으로 정확한 직선으로 부터 어긋나는 크기를 말하는 것으로 측정 평가길이인 1m내 최대 산과 골의 차이(R_t)로 나타낸다¹⁴⁾. 전단판재의 진직도를 정량화하기 위해 Fig.3과 같이 전단 판재(크기:1000×300mm², 두께:0.9mm)를 3차원 측정기(Mitutoyo F950)로 측정하였다. 먼저 판재가 놓인 양 끝점을 측정하여 X축을 설정한 뒤, 전단 길이방향인 X축으로 5mm간격으로 판재 두께의 중앙지점을 측정하였다. 이 때 측정값인 Y축 데이터가 전단판재 면의 굴곡을 나타내며 최대 산과 최대 골의 차이, 즉 Y축 최대 값과 최소 값의 차이가 전단 길이방향 품질인 진직도(R_t)이다. 한편 측정한 데이터로부터 평균 제곱근의 개념을 이용한 표준편차도 진직도(R_t)와 함께 계산하여 그 타당성을 검토하였다. 또한 굴곡 형상을 표현하기 위해 Y축 측정 데이터의 산술평균(측정평균)을 구해 그 유용성을 검토하였다.

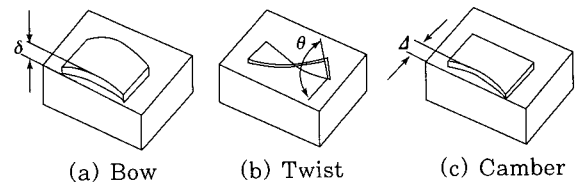


Fig. 2 Sheared contours with mechanical shearing

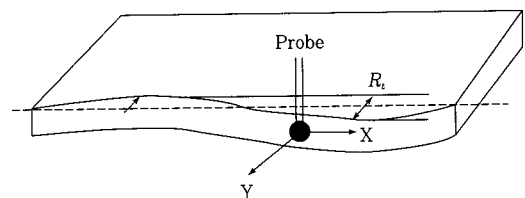


Fig. 3 Schematic diagram for measuring straightness of sheared contour

2.3.2 전단 단면 형상 측정

대표적인 전단 단면 형상을 Fig.4에 나타내었다. 전단 단면 형상 측정은 최적의 전단 길이방향 품질을 나타내는 전단판재의 단면을 채취하여 기계적인 연마 후 광학 사진촬영을 통해 전단면율과 전단면각을 측정하였으며, 판재 하부면에서부터 두께 방향으로

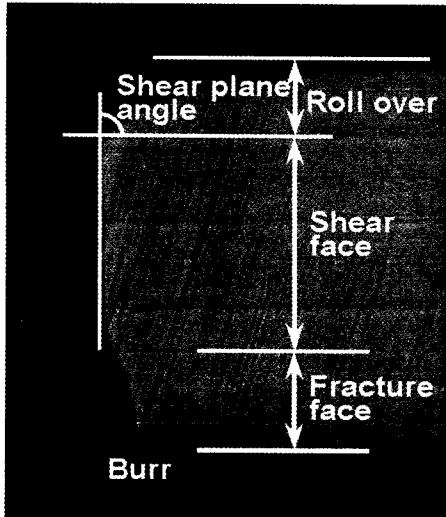


Fig. 4 Cross section of sheared 0.9mm thickness sheet

0.25mm, 0.45mm, 0.7mm 각각의 위치에서 굴곡 형상을 측정하여 확인하였다.

2.3.3 밀링판재의 길이방향 형상과 단면 형상 측정

맞대기 레이저 용접을 하기 위해 기존 가공법으로 얻을 수 있는 최선의 판재 면은 밀링 가공한 것으로 볼 수 있다. 밀링판재와 전단판재의 품질을 비교하기 위하여 밀링판재의 길이방향 형상인 진직도와 단면 형상인 전단면율과 전단면각을 동일한 방법으로 측정하였다.

2.4 맞대기 판재간 최대 틈새 계산

동일한 품질을 갖는 전단판재 2장을 실제로 맞대기 하였을 때 발생하는 판재간 틈새를 계산하기 위해 Fig.5에 진직도 측정 데이터로부터 틈새를 구하는 과정을 모사 하였다. 전단판재 하나를 고정시키고 다른 하나를 180° 회전시켜 맞대면 두 곡선의 차이가 판재간의 틈새가 된다. 맞대기한 판재의 전 구간에서 가장 큰 틈새가 맞대기 레이저 용접 품질에 영향을 미치므로 최대 틈새가 가장 적은 것이 가장 양호한 판재준비 상태가 된다. 따라서 전단 품질 특성치인 R_t 및 표준편차, 측정평균, 전단면율, 전단면각 등이 판재간 최대 틈새에 어느 정도 영향을 주는지 비교, 평가하였다.

Fig.6은 맞대기할 때 전단 길이방향 형상에 따라 최대 틈새 크기 변화를 나타낸 것이다. Fig.6의 (a)는 전단 중앙 부위가 바깥쪽으로 볼록한 경우로 측정 데이터의 평균값이 영에서 (+)로 커질수록 최대 틈새가 R_t 의 2배 이상으로 증폭 될 수 있다. 한편 (-)로 큰 경

우, Fig.6의 (b)와 같으며 맞댄 판재간 최대 틈새는 R_t 의 2배 이하로 나타날 수 있다. 그러나 Fig.6의 (c)와 같은 굴곡형상인 경우, 맞댄 판재간 최대 틈새는 R_t 의 2배 보다 훨씬 작게될 수 있다.

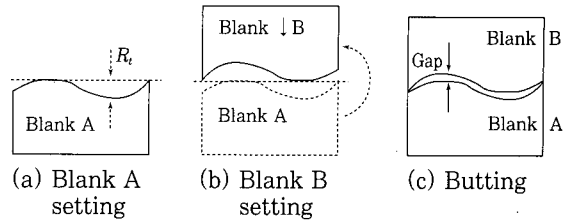


Fig. 5 Procedure for calculating maximum gap from sheared contour

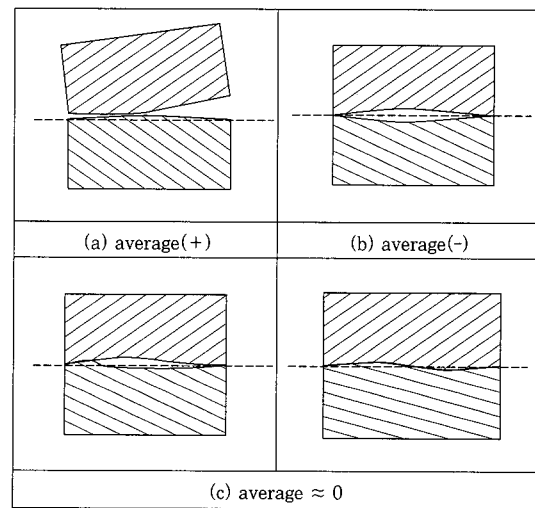


Fig. 6 Schematic diagram of gap geometry due to sheared contours

2.5 맞대기 레이저 용접

전단 길이방향 형상과 전단 단면 형상이 맞대기 레이저 용접 품질에 미치는 영향을 비교 평가하기 위해 밀링판재와 전단판재를 각각 Table 4와 같이 틈새가 없을 때를 포함하여 틈새에 따른 4수준 맞대기 레이저 용접을 하였다. 맞댄 두 판재가 완전히 밀착되어 틈새가 없는 0.0mm부터 맞댄 판재사이에 인위적으로 틈새 게이지를 삽입 후 판재를 고정하여 틈새를 0.05mm간격으로 0.15mm까지 발생시켰다. 이 때 사용한 레이저 용접 조건은 Table 5에 나타내었다.

용접 비드의 기계적인 특성은 용접 비드 선이 인장 방향에 수직 및 평행으로 있는 표준인장시편을 채취하여 인장강도와 균일연신률을 비교 평가하였으며, 틈새 게이지를 이용하였던 위치에서 용접 비드 단면을 채취하여 기계적인 연마 후 광학사진촬영을 통해 용접 비드의 광학 품질¹⁵⁾을 비교하였다.

Table 4. Experimental design for 0.9mm thickness sheet welding

Factor	Level	Variable
Edge Preparation	2	milling, shearing
Gap(mm)	4	0.0, 0.05, 0.10, 0.15

Table 5. Laser butt welding condition for 0.9mm thickness sheet

Laser	Wave Length	Beam Mode	Laser Power	Welding Speed	Shield Gas	Shield Gas Flow	Focal Length
CO ₂	10.6 μ m	Multimode (continuous wave)	4kW	6m/min	Ar	30liter/min (5kgf/cm ²)	250mm

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전단 품질

3.1.1 전단 길이방향 품질을 위한 최적조건

최적의 전단 조건을 얻기 위한 전단 실험계획과 전단 판재의 형상을 측정하여 얻은 측정평균, 진직도 R_i 의 SN비(signal to noise ratio), 표준편차의 SN비와 이로부터 계산한 판재간 최대 틈새의 SN비를 Table 6에 나타내었다. 특성치는 망소특성을 나타내므로 식 (1)을 적용하여 i 번째 실험에 대한 SN비를 구하였다.

다. 망소특성에서는 SN비를 최대화 하는 것이 산포도 작게 하면서 평균치를 작게 하는 최적 조건이 된다.

$$SN_i = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \right) \quad (1)$$

Fig.7은 R_i 의 SN비 평균분석(ANOM, analysis of mean)을 나타낸 것이다. 각 인자의 수준범위 내에서 SN비가 클수록 최적의 수준이므로 설정한 전단력에서는 전단각은 작을수록, 클리어런스가 클수록, 전단 스크랩 길이가 짧을수록 전단 길이방향 품질인 진직도가 우수함을 알 수 있다. Table 7의 (a)은 진직도에 대한 분산 분석(ANOVA, analysis of variance)결과이다. F-검정하여 95% 유의 수준에서 어떠한 인자가 특성치에 유의성이 있으려면 요인과 에러에 의한 분산비 F_0 가 $F(0.05)$ 보다 커야하나 일반적으로 F_0 가 2 이상이면 유의성이 있다고 본다¹⁶⁾. 따라서 전단판재의 진직성에 영향을 주는 주요한 인자는 클리어런스와 전단각이었다. 즉 전단각이 작고, 클리어런스가 큰 실험번호 3번 전단 조건이 전단 길이방향 품질인 진직도 R_i 가 가장 적은 최적의 전단조건이었다.

Fig.8은 전단판재의 진직도로 나타낼 수 있는 인자를 검토한 것으로 R_i 와 표준편차와의 관계를 나타낸 것이다. 상관계수가 0.95로서 R_i 와 표준편차와는 비례관계가 있으므로 진직도를 R_i 나 표준편차로 나타내나 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 6. Experimental design and results obtained from the shearing experiments

Exp. No	Input				Output			
	Shear Angle (°)	Clearance (mm)	Error	Width of Cut Length (mm)	Measured Data			Calculated Gap Data
Level 1	(-)	(-)		(-)	Average	SN Ratio for R_i	SN Ratio for Standard Deviation	SN Ratio for Max Gap
Level 2	(0)	(0)		(0)				
Level 3	(+)	(+)		(+)				
Exp. No	Column No.							
1	1	1	1	1	11.92	-26.47	-15.83	-30.37
2	1	2	2	2	0.57	-24.67	-12.44	-24.94
3	1	3	3	3	-3.70	-23.50	-10.82	-23.78
4	2	1	2	3	-2.76	-28.53	-17.53	-25.87
5	2	2	3	1	7.39	-25.46	-13.95	-27.88
6	2	3	1	2	-6.06	-25.12	-12.55	-25.60
7	3	1	3	2	-5.34	-28.69	-17.49	-27.48
8	3	2	1	3	-8.73	-29.51	-18.21	-29.51
9	3	3	2	1	4.78	-25.80	-12.87	-23.03

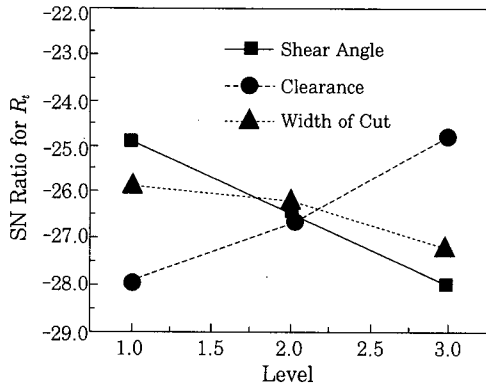


Fig. 7 ANOM of SN ratio for R_i

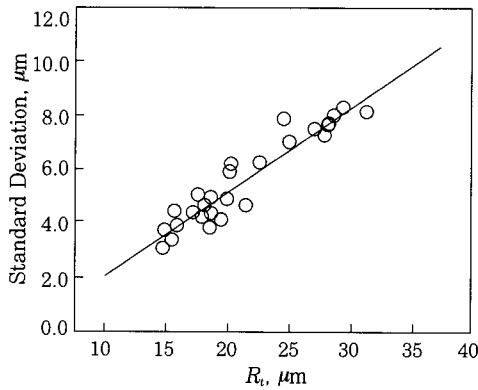


Fig. 8 Relationship between R_i and standard deviation

Table 7. ANOVA of SN ratio for R_i and maximum gap

a) R_i

Factor	SS	ϕ	V	Fo	F(0.05)
Shear Angle	14.64	2	7.32	7.32(6.21)	19.00(6.94)
Clearance	14.40	2	7.20	7.20(6.11)	19.00(6.94)
Width of Cut	2.71	2	1.36	1.36	19.00
Error	2.00	2(4)	1.00(1.17)		
	33.76	8			

() : Width of Cut error pooling

b) Maximum Gap

Factor	SS	ϕ	V	Fo	F(0.05)
Shear Angle	0.16	2	0.08	0.00	19.00(5.14)
Clearance	25.38	2	12.69	1.12(3.09)	
Width of Cut	1.83	2	0.92	0.08	
Error	22.63(24.61)	2(6)	11.31(4.10)		
	50.00	8			

() : Shear Angle and Width of Cut error pooling
 SS: Sum of Squares, ϕ : Degrees of Freedom,
 V: Variance, Fo: Ratio of Variances

3.1.2 최적 조건에서의 전단 단면 품질

전단 단면 품질로서 전단면각이 85° 미만인 경우 레이저 용접에서 불량을 일으킬 수 있다는 보고가 있다¹⁷⁾. Fig.9는 전단 두께 방향으로의 각 위치에서 측정된 전단 길이방향의 진직도 측정 결과이다. 측정 위치에 따라 전단판재 면의 굴곡 형태는 유사하였으며, 판재 두께 방향에서 판재 아랫면이 윗면 보다 전체적으로 양의 방향으로 약 10 μ m 정도 튀어나온 형태로 보였다. 이 차이가 전단면각을 나타내는 것으로 측정된 위치 차이와 비교하여 보면 88.7°로 전단면각이 85° 이상임을 나타내 전단 단면 품질로서 이상이 없었다. 또한 최적의 전단 조건에서 전단면율은 65%이었으며, 8%의 롤오버와 27%정도의 파단면이 존재하였다.

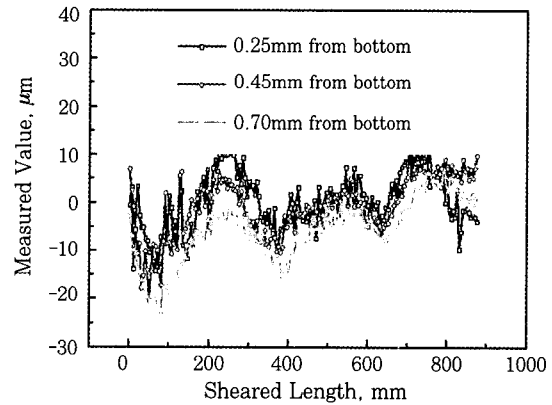


Fig. 9 Sheared contours at each height

3.1.3 최적 전단 조건에서의 전단판재와 밀링판재의 품질

Fig.10은 밀링가공으로 준비한 판재와 최적의 전단 조건에서 전단한 판재의 길이방향 품질을 비교한 것이다. 밀링판재의 R_i 는 7.6 μ m, 표준편차는 1.5 μ m였으며, 전단판재의 R_i 는 16.3 μ m, 표준편차는 3.8 μ m로 밀링판재의 2배 정도이나 맞대기할 경우 최대 틈새가 35 μ m이하로 판재 두께의 10%인 90 μ m미만이 되어 레이저 용접하기에는 충분한 진직도였다.

단면 품질의 경우, Fig.11에서 보는 바와 같이 밀링 판재를 맞대기하는 경우 단면에서 완벽하게 일치하며 틈새를 발생시키는 어떠한 결함도 없었다. 즉 전단면율을 100%로 볼 수 있으며, 전단면각도 이상적인 90°로 볼 수 있다. 한편, 최적조건에서 전단한 판재의 경우 전단면각이 88.7°로 맞대기한 두 판재의 전단면에서 일치하여 판재간 틈새가 발생하지 않았다. 전단면각이 작은 경우에는 전단면 하부에서만 판재가 맞닿게 되어 전단면각에 의한 틈새가 추가적으로 발생하게 되어 레이저빔에 의한 용접이 불가능하게 된다. 즉 전단 단면 형상에 따라 틈새가 커져 맞대기 레이저 용접

성이 나쁘게 된다. 본 연구에서는 이를 전단 단면 형상에 따른 틈새발생효과라 정의하고 다음과 같이 계산하였다. 최적 전단 조건에서 발생한 롤오버나 파단에 의해 발생된 공간을 면적으로 계산해 보면 롤오버에 의한 공극면적은 0.02mm², 파단면에 의한 공극면적은 0.01mm²로 전단 단면 형상에 의한 틈새발생효과는 두께 0.9mm판재에서 약 30μm가 발생했다고 평가할 수 있다.

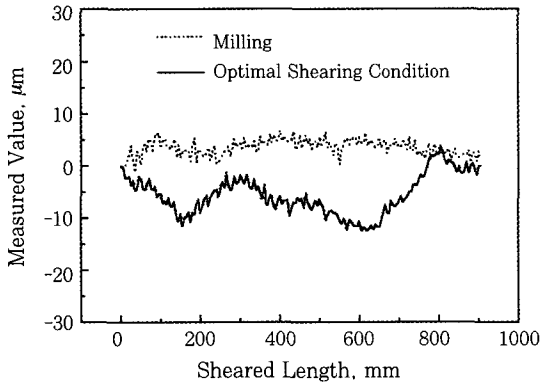


Fig. 10 Comparison of milled sheet contour with sheared one

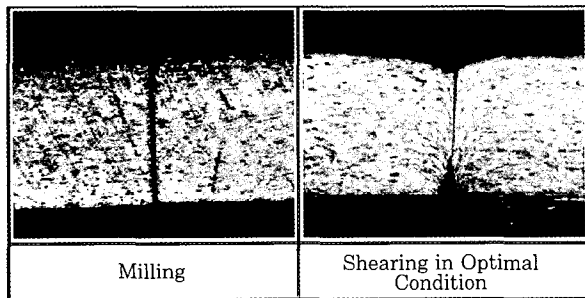


Fig. 11 Cross sections of butted sheets from milling and shearing

3.2 맞대기 판재 모사에서 구한 최대 틈새와 진직도

전단 길이방향 형상을 측정 한 값으로 계산한 판재간 최대 틈새 결과를 Table 6에, ANOVA분석한 결과를 Table 7의 (b)에 나타내었다. 클리어런스가 판재간 최대 틈새에 영향을 주는 주요인자로서 그 값이 클수록 판재간 최대 틈새가 적게 나타났으며 그 영향은 R_z 의 경우와 동일하다. 그러나 전단각이 판재간 최대 틈새에 주는 영향은 없는 것으로 판단되어 R_z 의 경우와 다르다. Fig.12의 (a)는 계산에서 구한 판재간 최대 틈새의 SN비와 R_z 의 SN비와의 관계를 나타낸 것이고 (b)는 최대 틈새의 SN비와 측정평균간의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 진직도 R_z 의 SN비가

클수록 최대틈새의 SN비가 크다고 볼 수 있으나 최대 틈새와 R_z 사이에 일정한 관계를 나타내지는 않는다. 이는 길이방향 형상 차이에서 기인한다고 보여지며 측정평균을 도입하여 해결할 수 있다. 최대틈새의 SN비와 측정평균과의 관계인 Fig.12의 (b)를 보면 2차 곡선의 경향이 있으며 측정평균이 0 근처에서 맞댄 판재간 최대 틈새가 작음을 알 수 있다. 앞의 Fig.6에서 논의한 것과 같이 측정평균의 (-)값이 더 적합하므로 따라서 R_z 의 SN비가 클수록(즉, R_z 가 작을수록) 또 측정평균이 (-)에서 0에 근접할수록 맞대기 레이저 용접에 적합한 전단 품질임을 알 수 있다.

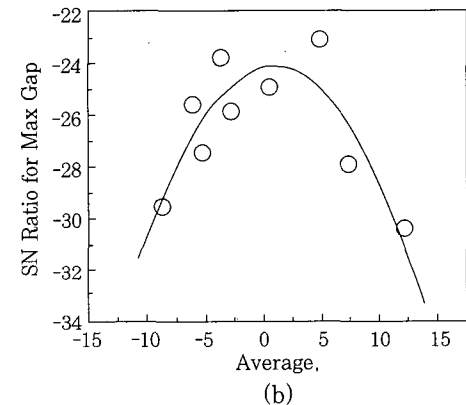
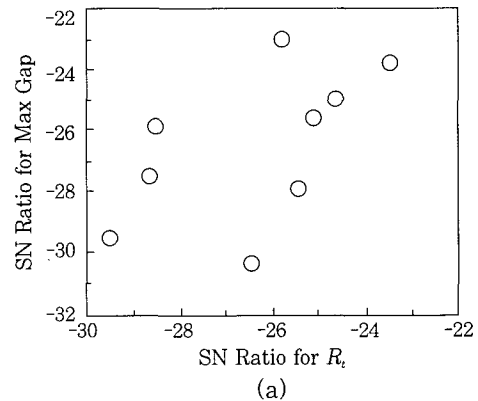


Fig. 12 Relationship between each parameter
(a) SN ratio for maximum gap and R_z
(b) SN ratio for maximum gap and average

3.3 전단판재의 용접성

3.3.1 밀링판재와 전단판재의 용접성 비교

밀링판재와 3.1에서 구한 최적의 조건으로 전단한 전단판재를 각각 용접한 후 용접 비드단면을 광학 현미경으로 조사한 결과를 Fig.13의 틈새 게이지 0.0mm에 실었다. 맞댄 판재간의 틈새가 없는 경우, 밀링판재와 전단판재 모두 용접 전 범위에 걸쳐 상부 비드 폭은 약 1.1mm, 하부비드폭은 0.8mm로 형성되어 품질이 양호하였다. 이는 집속된 빔의 크기가 충분히 크므로 용융 되는 면적이 넓어져 전단에서 발생

한 롤오버와 파단면에 의한 비드부의 함몰 현상이 나타나지 않은 것으로 생각된다.

Fig.14는 밀링판재와 전단판재를 각각 용접한 TB 판재의 인장시험에 의한 기계적 특성을 나타낸 것이다. 용접선과 동일한 방향으로 인장시험을 하였으며 용접 판재의 인장강도는 모재보다 약 13%정도 증가하여 정상적인 레이저 용접의 특성치를 나타내었으며, 성형성의 기준이 되는 변형률도 동일하여 기계적 품질의 차이는 없었다¹⁸⁾.

3.3.2 용접성에 대한 전단판재의 틈새발생효과

전단 길이방향 형상인 진직도와 전단 단면 형상인 전단면을 등이 용접품질에 미치는 영향을 비교 평가하기 위해 밀링판재와 전단판재의 레이저 용접 후 비드 단면을 광학현미경으로 조사하였다. 이 결과를 정리하여 Fig.13에 틈새가 0.05mm, 0.1mm, 0.15mm인 경우에 대하여 실었다. 밀링판재는 틈새 게이지가 0.1mm이하에서 인위적 틈새에 의한 비드부 함몰이 발생하지 않았으며, 0.15mm에서 판재 두께의 10% 이상의 비드부 함몰이 발생하였다. 전단판재는 틈새 게이지가 0.05mm부터 약간의 비드부 함몰이 발생하기 시작하였으나 맞대기 레이저 용접 품질 규격인 판재 두께의 10%미만이였다. 틈새 게이지 0.15mm를 삽입한 경우에서도 용접은 가능하였으나 현저한 비드 함몰이 발생하여 용접불량이었다. 이와 같은 밀링판재와 전단판재의 용접품질 평가 결과를 인위적 틈새와 전단면율을 두 축으로 하여 Fig.15에 그래프로 나타내었다. 여기서 전단면율 100%는 밀링 시편을, 전단면율 65%는 전단판재를 나타낸다. Fig.13과 Fig.15에서 보듯이 밀링가공과 전단 차이보다는 인위적으로 발생시킨 판재간 틈새에 따른 용접 비드 품질의 변화가 컸다. 이는 전단 단면 품질인 전단면율에 의해 발생하는 틈새보다는 길이방향 형상에 의해 발생하는 판재간 최대 틈새, 즉 진직도 R_i 가 용접 비드의 광학 품질에 더 영향이 크음을 보여준다.

이 실험 결과를 길이방향 형상에 의한 틈새발생효과와 전단 단면 형상에 의한 틈새발생효과를 계산한 결과와 비교하면 잘 일치함을 알 수 있다. 즉 최적조건에서 단면 형상에 따른 전단판재의 틈새발생효과는 약 $30\mu\text{m}$ 이며 밀링판재는 이상적으로 $0\mu\text{m}$ 이다. 한편 길이방향 형상인 진직도에 의한 틈새발생은 전단판재의 R_i 가 $16.3\mu\text{m}$ 이므로 최대 틈새는 $32.6\mu\text{m}$, 밀링판재의 R_i 가 $7.6\mu\text{m}$ 이므로 최대틈새는 $15.2\mu\text{m}$ 이다. 즉 길이방향 형상에 따라 맞대기한 두 판재의 최대 틈새 차이는 $17.4\mu\text{m}$ 이다. 따라서 밀링판재와 전단판재의 차이에 따르는 틈새발생효과는 약 $47.4\mu\text{m}$ 이며 이는

Fig.15의 용접 한계에서의 인위적 틈새의 차인 0.05mm를 잘 설명하고 있다.

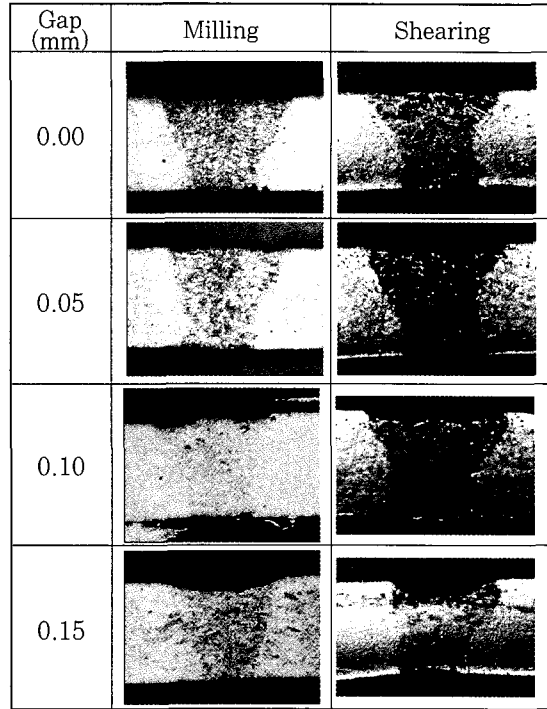


Fig. 13 Optical microstructures of welding specimens at each gap with gap gauge

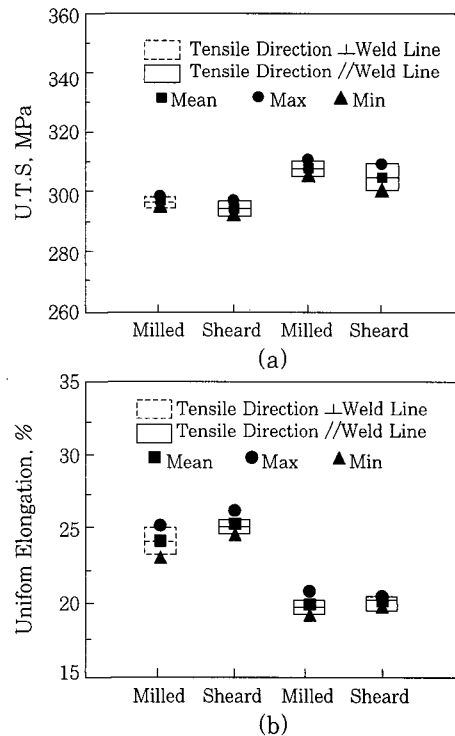


Fig. 14 Comparison of mechanical properties of welded specimens ;
 (a)Ultimate tensile strength
 (b)Uniform elongation

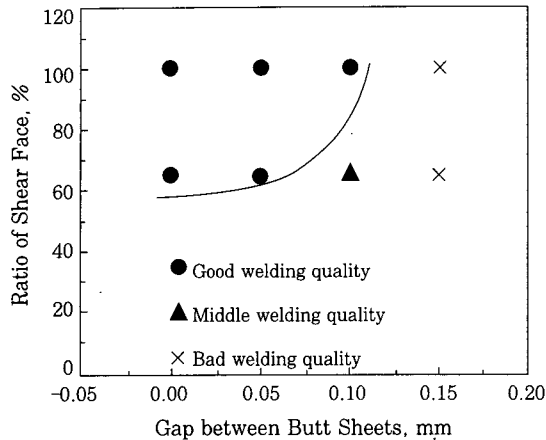


Fig. 15 Welding quality according to ratio of shear face and gap with gap gauge

4. 결 론

TB용 맞대기 레이저 용접을 위한 전단 품질의 기준을 알기 위하여 전단시험과 용접시험을 각각 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 밀링판재와 전단판재 차이로 인한 용접 비드 단면의 광학 품질 차이는 없으며, 이는 전단면율, 전단면각, 롤오버 등의 전단 단면 형상보다는 맞대기 틈새를 발생시키지 않도록 하는 진직도 등 길이방향 형상이 용접 품질에 크게 영향이 있음을 보여 준다. 따라서 다운 컷 시어형 일반 전단기로 전단한 판재로도 충분히 좋은 TB 용접 판재를 얻을 수 있다.

2) 밀링판재와 전단판재로 용접한 테일러드 블랭크에 대하여 용접선 방향으로의 인장시험에 의한 기계적 특성을 비교한 결과 차이가 없었다.

3) 전단판재와 이상적인 판재와의 차이를 맞대기에서의 틈새에 주는 영향으로 표현하기 위하여 틈새발생효과를 정의하였다. 전단판재의 틈새발생효과는 $62.6\mu\text{m}$, 밀링판재의 틈새발생효과는 $15.2\mu\text{m}$ 이며 그 차이는 $47.4\mu\text{m}$ 이다.

4) 인위적으로 판재 양 끝단에 틈새를 준 경우, 밀링판재는 판재간 틈새가 0.1mm 이하까지 틈새 영향에 의한 비드부 함몰이 발생하지 않았으며, 전단판재는 틈새가 0.05mm 까지 비드부 함몰이 거의 발생하지 않았다. 이 차이는 진직도 차이와 전단 단면 형상의 차이에 의한 틈새가 주는 틈새발생효과로 이해할 수 있다.

5) 판재 전단기에서 맞대기 레이저 용접을 하기 위한 판재 전단 길이방향 품질에 영향을 주는 주요한 인자는 상부 날과 하부 날간의 클리어런스와 전단각이었다. 최적의 전단 조건에서 전단면율은 65%이었고, 전단면각은 88.7° 로 이 때 발생한 최대 틈새는 판재 두

께의 10%내에 있다.

6) 테일러드 블랭크(Tailored Blank)를 용접하기 위해 전단한 판재의 전단 길이방향으로의 품질은 진직도 R_z 와 측정평균으로 나타낼 수 있다. 즉 전단판재의 길이방향 품질은 R_z 가 작고, 측정 데이터의 평균이 0에 근접할수록 맞대기 레이저 용접에 적합한 전단 품질이다.

후 기

본 연구는 1998년 산업자원부 공업기반기술 개발 사업의 기술 개발 결과임

참 고 문 헌

1. A.J.Selige, W.Prange: "Production and Usage of Laser Beam-Welded Sheet Metal", SAE870413, (1987), pp2164-2172
2. Sydney Melbourne: "An Overview of Tailored Blanks and Preliminary Design Guidelines", Automotive Laser Application Workshop, (1994), Dearborn, Michigan, pp1-33
3. W.Prange, C.Schneider, A.J.Selige: "Application of Laser-Beam-Welded Sheet Metal", SAE890853, (1989), pp751-762
4. 김기철, 이기호, 이목영: "테일러드 블랭크용 박판 강재의 레이저 용접성(II)", 대한용접학회지, Vol 16, No 2, (1998), pp143-153
5. M.Eisenmenger and K.K.Bhatt: "Influence of Laser Welding Parameters on Formability and Robustness of Blank Manufacturing: An Application to a Body Side Frame", SAE950922, (1995), pp171-182
6. M.G.Forrest, W.A.Marttila: "A Study of Effects of Laser Welding Process Parameters Variation on Weld Quality for Zn-coated Thin Auto Body Sheet Material", Laser Material Processing Workshop, Detroit, (1996), pp1-28
7. Mads Rasmussen Paulo Pecas: "Laser Welding of Sub-Assemblies before Forming", IBEC'96 Material & Body Testing, (1996), pp90-136

8. U.Betz, M. Retzbach, G.Alber, W.Prange, N.M.Uddin, J.C.Mombo-Caristan: "Automated Laser Systems for High Volume Production Sheet Metal Application", ICALEO, (1992), pp627-636
9. S.Carter, D.Guastaferrri:" Developing Performance Validation and Acceptance Procedures for Commercially Built Tailored Blank Laser Welding System", IBEC' 96 Material & Body Testing, (1996), pp121-131
10. Daniel Wildmann et al: "Laser welded Blanks-Innovative Edge Preparation Process Reliability and Economy", IBEC' 96 Material & Body Testing, (1996), pp132-136
11. 전기찬: "박판금속의 성형", 반도출판사, (1993), pp 75
12. T.C.Lee, L.C.Chan, B.J.Wu:" Straining Behaviour in Blanking Process-Fine Blanking Vs Conventional Blanking", J. of Materials Processing Technology, v48, (1995), pp105-111
13. Masao Murakawa, Yan Lu:" Precision cutting of sheets by means of a new shear base on rolling motion", J. of Materials Processing Technology, v66, (1997), pp232-239
14. 이장구, 이종대:" 정밀측정학", 기전연구소, (1991) pp306
15. General Motors Engineering Standards 4485 M
16. 박성현: "다꾸찌 방법을 중심으로 한 응용 실험 계획법", 영지문화사, (1990), pp 223
17. K. Shibata: "Laser Welding of Tailored Blank", ICALEO-Auto, (1996), pp 11-20
18. K. Mori etal:" Development of a Laser Welding Process for Blanking Sheet Metal", 日産 技報 No.35, (1994), pp121-126